

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2003-014959  
 (43)Date of publication of application : 15.01.2003

(51)Int.Cl.

G02B 6/12

(21)Application number : 2001-202413

(71)Applicant : FURUKAWA ELECTRIC CO LTD:THE

(22)Date of filing : 03.07.2001

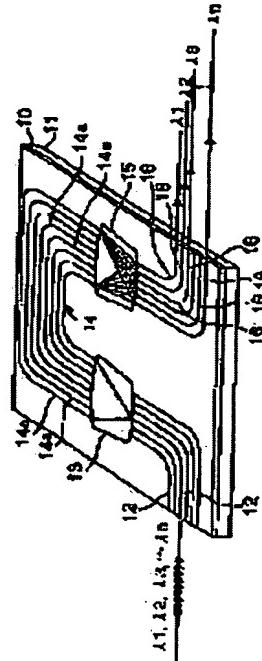
(72)Inventor : NARA KAZUTAKA  
KASHIWABARA KAZUHISA

## (54) OPTICAL WAVEGUIDE

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide an optical waveguide such as an array waveguide type diffraction grating or the like in which the influence of polarized wave dependency loss is suppressed without providing a half-wave length plate and the deterioration due to moisture absorption is suppressed.

**SOLUTION:** An underclad is formed on a silicon substrate 11, on which a plurality of optical input waveguides 12, a first slab waveguide 13, an array waveguide 14 which is composed of a plurality of parallel channel waveguides 14a of which set lengths are different from one another, a second slab waveguide 15 and an optical output waveguide 16 are formed with core, and the core is covered with an overclad. The clad and the core are formed with quartz-based glass and the following relations are satisfied as  $-2.0 \times 10^{-7} \leq \alpha_{oc} \leq 2.0 \times 10^{-7}$  and  $\alpha_{oc} - \alpha_{sc} \leq 21.5 \times 10^{-7}$ , where  $\alpha_{oc}$  stands for the thermal expansion coefficient of the underclad,  $\alpha_s$  stands for the thermal expansion coefficient of the substrate 11 and  $\alpha_{sc}$  stands for the thermal expansion coefficient of the overclad.



(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003-14959

(P2003-14959A)

(43)公開日 平成15年1月15日(2003.1.15)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

G 0 2 B 6/12

識別記号

F I

G 0 2 B 6/12

テ-マコ-ト<sup>\*</sup>(参考)

F 2 H 0 4 7

審査請求 有 請求項の数 3 O L (全 9 頁)

(21)出願番号 特願2001-202413(P2001-202413)

(22)出願日 平成13年7月3日(2001.7.3)

(71)出願人 000005290

古河電気工業株式会社

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号

(72)発明者 奈良 一孝

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古  
河電気工業株式会社内

(72)発明者 柏原 一久

東京都千代田区丸の内2丁目6番1号 古  
河電気工業株式会社内

(74)代理人 100093894

弁理士 五十嵐 清

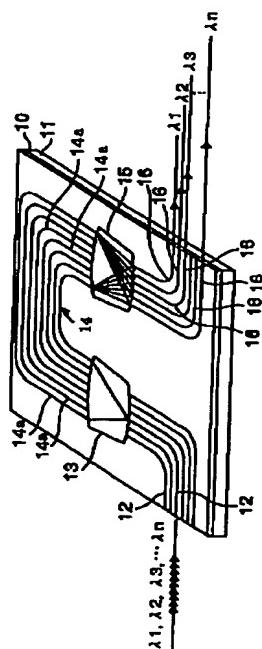
F ターム(参考) 2H047 KAD4 KA12 LA18 QA04 QA07  
TA23

(54)【発明の名称】 光導波路

(57)【要約】

【課題】 半波長板を設けなくても偏波依存性損失の影響を抑制可能で、かつ、吸湿による劣化を抑制可能なアレイ導波路型回折格子等の光導波路を提供する。

【解決手段】 シリコンの基板11上にアンダークラッドを形成し、その上に、複数の光入力導波路12、第1のスラブ導波路13、互いに設定量異なる長さの複数並設されたチャネル導波路14aから成るアレイ導波路14、第2のスラブ導波路15、光出力導波路16をコアにより形成し、コアの上をオーバークラッドで覆う。クラッドとコアは石英系ガラスにより形成し、アンダークラッドの熱膨張係数を $\alpha_{u.c}$ 、基板11の熱膨張係数を $\alpha_u$ 、オーバークラッドの熱膨張係数を $\alpha_{o.c}$ としたとき、 $\alpha_u - 2.0 \times 10^{-7} \leq \alpha_{u.c} \leq \alpha_u + 2.0 \times 10^{-7}$ 、かつ、 $\alpha_{o.c} - \alpha_{u.c} \leq 21.5 \times 10^{-7}$ と成す。



BEST AVAILABLE COPY

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に、少なくともアンダークラッドと、該アンダークラッド上に設けたコアと、該コアを覆うオーバークラッドとを形成して成る光導波路であって、前記基板の熱膨張係数を $\alpha_c$ 。とし、前記アンダークラッドの熱膨張係数を $\alpha_{cl}$ 。とし、前記オーバークラッドの熱膨張係数を $\alpha_{ov}$ 。としたとき、 $\alpha_c - 2.0 \times 10^{-7} \leq \alpha_{cl} \leq \alpha_c + 2.0 \times 10^{-7}$ と成し、かつ、 $\alpha_{ov} - \alpha_{cl} \leq 21.5 \times 10^{-7}$ と成していることを特徴とする光導波路。

【請求項2】 光導波路は、1本以上の並設された光入力導波路と、該光入力導波路の出射側に接続された第1のスラブ導波路と、該第1のスラブ導波路の出射側に接続され、互いに設定量異なる長さの複数並設されたチャネル導波路から成るアレイ導波路と、該アレイ導波路の出射側に接続された第2のスラブ導波路と、該第2のスラブ導波路の出射側に複数並設接続された光出力導波路とを、コアにより形成したアレイ導波路型回折格子の光導波路と成していることを特徴とする請求項1記載の光導波路。

【請求項3】 基板はシリコンであることを特徴とする請求項1または請求項2記載の光導波路。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光通信などに使用されるアレイ導波路型回折格子等の光導波路に関するものである。

## 【0002】

【背景技術】 近年、光通信においては、その伝送容量を飛躍的に増加させる方法として、光波長多重通信の研究開発が盛んに行なわれ、実用化が進みつつある。光波長多重通信は、例えば互いに異なる波長を有する複数の光を波長多重化して伝送させるものであり、このような光波長多重通信のシステムにおいては、伝送される複数の光から、光受信側で波長ごとの光を取り出すために、予め定められた波長の光のみを透過する光透過素子等を、システム内に設けることが不可欠である。

【0003】 光透過素子の一例として、例えば図6に示すようなアレイ導波路型回折格子(AWG ; Arrayed Waveguide Grating)の光導波路がある。アレイ導波路型回折格子は、基板11上に、同図に示すような導波路構成を形成したものである。

【0004】 アレイ導波路型回折格子の導波路構成は、1本以上の並設された光入力導波路12の出射側に、第1のスラブ導波路13が接続され、第1のスラブ導波路13の出射側にはアレイ導波路14が接続され、アレイ導波路14の出射側には第2のスラブ導波路15が接続され、第2のスラブ導波路15の出射側には複数の並設された光出力導波路16が接続されて形成されている。

【0005】 前記アレイ導波路14は、第1のスラブ導

波路13から導出された光を伝搬するものであり、複数のチャンネル導波路14aを並設して形成されており、隣り合うチャンネル導波路14aの長さは互いに設定量( $\Delta L$ )異なっている。

【0006】 なお、光出力導波路16は、例えばアレイ導波路回折格子によって分波あるいは合波される互いに異なる波長の信号光の数に対応させて設けられるものである。また、アレイ導波路14を構成するチャンネル導波路14aは、通常、例えば100本といったように多数設けられる。ただし、同図においては、図の簡略化のために、これらのチャンネル導波路14a、光出力導波路16および、光入力導波路12の各々の本数を簡略的に示してある。

【0007】 光入力導波路12には、例えば送信側の光ファイバ(図示せず)が接続されて、波長多重光が導入されるようになっており、光入力導波路12を通って第1のスラブ導波路13に導入された光は、その回折効果によって広がってアレイ導波路14に入射し、アレイ導波路14を伝搬する。

【0008】 このアレイ導波路14を伝搬した光は、第2のスラブ導波路15に達し、さらに、光出力導波路16に集光されて出力されるが、アレイ導波路14を構成する全てのチャンネル導波路14aの長さが互いに異なることから、アレイ導波路14を伝搬した後に個々の光の位相にずれが生じ、このずれ量に応じて集束光の波面が傾き、この傾き角度により集光する位置が決まる。波長の異なった光の集光位置は互いに異なることになり、その位置に光出力導波路16を形成することによって、波長の異なった光を各波長ごとに異なる光出力導波路16から出力できる。

【0009】 例えば、同図に示すように、1本の光入力導波路12から波長 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_n$ (nは整数)の波長多重光を入力させると、これらの光は、入力側スラブ導波路13で広げられ、アレイ導波路14に到達し、出力側スラブ導波路15を通して、前記の如く、波長によって異なる位置に集光され、互いに異なる光出力導波路16に入射し、それぞれの光出力導波路16を通して、光出力導波路16の出射端から出力される。そして、各光出力導波路16の出射端に光出力用の光ファイバ(図示せず)を接続することにより、この光ファイバを介して、前記各波長の光が取り出される。

【0010】 アレイ導波路型回折格子においては、回折格子の波長分解能が回折格子を構成する各チャンネル導波路14aの長さの差( $\Delta L$ )に比例するために、 $\Delta L$ を大きく設計することにより、従来の回折格子では実現できなかった波長間隔の狭い波長多重光の光合分波が可能となり、高密度の光波長多重通信の実現に必要とされている、複数の信号光の光合分波機能、すなわち、波長間隔が1nm以下の複数の光信号を分波または合波する機能を果たすことができる。

【0011】上記アレイ導波路型回折格子は、例えば石英系ガラスによって形成されたアンダークラッドとコアとオーバークラッドとを有する光導波路形成領域10を基板11上に形成してなる光導波路である。すなわち、アレイ導波路型回折格子は、基板11上にアンダークラッドを形成し、その上側に上記導波路構成のコアを形成し、コアの上側にはコアを覆うオーバークラッドを設けて形成されており、基板11は例えばシリコン基板である。

【0012】図7には、アレイ導波路型回折格子の製造工程が模式図によって示されており、以下、同図に基づいて光導波路の製造方法について説明する。まず、同図の(a)に示すように、基板11上に、火炎加水分解堆積法と焼結によってアンダークラッド1bの膜とコア2の膜とを順に形成する。なお、図中、5は、火炎加水分解堆積法に用いるバーナの火炎を示す。

【0013】次に、同図の(b)に示すように、マスク8を用いて、フォトリソグラフィーとリアクティブイオンエッティング法を適用し、それによって、同図の(c)に示すように、コア2の膜を加工してアレイ導波路型回折格子の光導波路パターンを形成し、前記光導波路構成のコア2を形成する。

【0014】次に、同図の(d)に示すように、コア2の上部側に、コア2を覆う態様でオーバークラッド1aの膜を形成する。オーバークラッド1aの膜は、火炎加水分解堆積法によってオーバークラッドガラス微粒子を堆積し、このオーバークラッドガラス微粒子を例えば1200°C~1250°Cで焼結することによって形成される。なお、オーバークラッド1aは、従来、例えば純石英にB<sub>2</sub>O<sub>3</sub>とP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>をそれぞれ5mol%ずつ添加した石英系ガラスによって形成されていた。

【0015】ところで、上記のような光波長多重通信用の光透過素子として適用されるアレイ導波路型回折格子において、TEモード(TE mode)とTMモード(TM mode)の偏波依存性損失(PDL)は零に近いほど好ましいものである。しかし、従来のアレイ導波路型回折格子は、例えばTEモードの通過スペクトルが図8の特性線aに示され、TMモードの通過スペクトルが同図の特性線bに示されるように、中心波長±0.1nmの範囲における前記偏波依存性損失(PDL)が3dBであった。

【0016】そこで、この偏波依存性損失を補うために、従来のアレイ導波路型回折格子においては、図9に示すように、全てのチャンネル導波路14aを横切る態様で、アレイ導波路14の途中に、ポリイミドなどによって形成された半波長板3を挿入し、この半波長板3の入射側と出射側とで偏波を90度回転させることにより、前記偏波依存性損失の影響を回避していた。

【0017】なお、半波長板3は、ポリイミドに限らず、石英系のものも用いられているが、ポリイミドにす

ると、その厚みを薄くできるため、従来のアレイ導波路型回折格子に設ける半波長板3としてはポリイミド製のものが最も優れている。

【0018】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記のように、半波長板3を挿入してアレイ導波路型回折格子を形成すると、半波長板3に入射した光の一部が光入力導波路12の入射側に戻る、いわゆるリターンロスが生じる。このリターンロスの値は、半波長板3をアレイ導波路14の各チャンネル導波路14aに対して直交するように挿入した場合には約-35dBにもなる。

【0019】光波長多重通信システムに用いられる素子において、-40dBよりも大きいリターンロスが生じると光通信に支障を来すために、上記値のリターンロスが生じると、アレイ導波路型回折格子を光波長多重通信用として適用できなくなってしまう。

【0020】なお、半波長板3をチャンネル導波路14aと直交する軸に対して8度傾けて斜めに挿入した場合は、リターンロスを-40dB程度にすることも可能であるが、その場合、たとえ厚みが薄いポリイミド製の半波長板3を適用するにしても、半波長板3を挿入するための溝(スリット)の形成や半波長板3の挿入が技術的に難しくなって、アレイ導波路型回折格子の歩留まりが低下してしまうことになる。

【0021】また、現在用いられているポリイミド製の半波長板3は、その長さが約8mmであり、例えば25μm間隔でチャンネル導波路14aを並設しようとすると、最大320本のチャンネル導波路14aしか配設できない。したがって、将来、波長間隔の狭いアレイ導波路型回折格子を実現するためにチャンネル導波路14aの本数を増加しようとしても、チャンネル導波路14aの本数に制約が生じ、対応が困難になるといった問題が生じることになる。

【0022】また、ポリイミド製の半波長板3の長さを長くしようとすると、半波長板3自体の製造歩留まりが低下し、それに伴ってアレイ導波路型回折格子のコストアップが生じることになる。

【0023】さらに、半波長板3を挿入してアレイ導波路型回折格子を形成するためには、ダイサーなどによって半波長板3の挿入スリットを加工し、そのスリットに半波長板3を挿入し、さらに、接着剤等を用いて半波長板3を固定しなければならないため、アレイ導波路型回折格子の作製工程数が多くなり、その分だけアレイ導波路型回折格子のコストが高くなってしまうといった問題もあった。

【0024】そこで、上記半波長板3の挿入による様々な問題を解決するために、オーバークラッドの熱膨張係数を基板の線膨張係数に近づけることにより、半波長板の挿入無しでPDLの低減化を図る構成が特願2000-380号に提案された。この提案によれば、アレイ導

波路型回折格子に半波長板を挿入しないでPDLを低減できるので、上記のような半波長板の挿入に伴う問題点が解決される。

【0025】しかし、上記提案は、オーバークラッドの熱膨張係数をシリコンの基板の線膨張係数に近づけるために、例えば純石英にドーパントとしての $B_2O_3$ と $P_2O_5$ を従来のアレイ導波路型回折格子における組成よりも高めており、本発明者は、このようなドーパント濃度増加に伴って、非常に厳しい高温・高湿条件下、例えば $120^{\circ}C$ 、 $100RH\%$ において、オーバークラッドの吸湿による光導波路の特性劣化の可能性を考え、偏波依存性損失と吸湿による特性劣化の両方を抑制できる光導波路の構成を提案することにした。

#### 【0026】

【課題を解決するための手段】本発明は次のような構成をもって課題を解決するための手段としている。すなわち、第1の発明は、基板上に、少なくともアンダークラッドと、該アンダークラッド上に設けたコアと、該コアを覆うオーバークラッドとを形成して成る光導波路であって、前記基板の熱膨張係数を $\alpha_u$ とし、前記アンダークラッドの熱膨張係数を $\alpha_a$ とし、前記オーバークラッドの熱膨張係数を $\alpha_o$ としたとき、 $\alpha_o - 2.0 \times 10^{-7} \leq \alpha_a \leq \alpha_o + 2.0 \times 10^{-7}$ と成り、かつ、 $\alpha_o - \alpha_u \leq 21.5 \times 10^{-7}$ と成している構成をもって課題を解決する手段としている。

【0027】なお、各熱膨張係数の単位は( $^{\circ}C^{-1}$ )である。

【0028】また、第2の発明は、上記第1の発明の構成に加え、前記光導波路は、1本以上の並設された光入力導波路と、該光入力導波路の出射側に接続された第1のスラブ導波路と、該第1のスラブ導波路の出射側に接続され、互いに設定量異なる長さの複数並設されたチャネル導波路から成るアレイ導波路と、該アレイ導波路の出射側に接続された第2のスラブ導波路と、該第2のスラブ導波路の出射側に複数並設接続された光出力導波路とを、コアにより形成したアレイ導波路型回折格子の光導波路と成している構成をもって課題を解決する手段としている。

【0029】さらに、第3の発明は、上記第1または第2の発明の構成に加え、前記基板はシリコンである構成をもって課題を解決する手段としている。

【0030】本発明者は、偏波依存性損失と吸湿による特性劣化の両方を抑制できる光導波路の構成を提案するに際し、偏波依存性損失を抑制する構成を上記提案に基づいて考え、さらに、吸湿による特性劣化抑制のために、ガラスの熱膨張係数に注目した。

【0031】一般に、ガラス中に水分が吸収されると熱膨張係数が大きくなる。したがって、例えば $B_2O_3$ と $P_2O_5$ のような吸湿性の高いドーパントを高濃度含む石英系ガラスによって光導波路のオーバークラッドを形

成すると、例えば光導波路のプレッシャークッカー試験を行なったときに、オーバークラッド中のドーパントが水分と反応し、熱膨張係数が大きくなる。

【0032】一方、光導波路のアンダークラッド中の上記ドーパント濃度が低いと、例えば光導波路のプレッシャークッカー試験を行なってもアンダークラッド中においては水分とドーパントとの反応が殆ど生じないため、熱膨張係数は大きくならないはずである。

【0033】そこで、本発明者は、以下の仮説を立てた。すなわち、本発明者は、「上記のようにオーバークラッドに吸湿性が高いドーパントを高濃度ドープした光導波路を高温高湿雰囲気下、例えば $120^{\circ}C$ 、 $100RH\%$ に置くと、オーバークラッドの熱膨張係数がアンダークラッドの熱膨張係数よりも大きくなる。そして、その熱膨張係数差が大きいと、図4に示すように、オーバークラッドとアンダークラッドの界面のオーバークラッド側に引っ張り応力がかかり、それにより、図3に示すように、オーバークラッドとアンダークラッドとの界面からオーバークラッドがクラッキングする。」と言う仮説を立てた。

【0034】そして、本発明者は、光導波路のオーバークラッド中における $B_2O_3$ 、 $P_2O_5$ 等のドーパント濃度を高くすると共に、アンダークラッドにドープするドーパント量を高めれば、光導波路を高温高湿雰囲気下において水分が吸収された際のオーバークラッドの熱膨張係数とアンダークラッドの熱膨張係数との差を低減することができ、それにより、上記のようなクラッキング発生現象を抑制でき、かつ、上記提案のように、例えば波長 $1.55\mu m$ 帯における偏波依存性損失の抑制も可能になるのではないかと考えた。

【0035】上記考察に基づき、本発明者は、基板上にアンダークラッド、オーバークラッドを順に堆積形成し、 $30mm$ 角に切り出した光導波路のチップを用意し、このチップのプレッシャークッカー試験を行なった。このプレッシャークッカー試験は、光導波路チップを $120^{\circ}C$ 、 $100RH\%$ の雰囲気下に $100$ 時間置く試験とした。そして、光導波路チップ端面からのクラックの長さを測定し、アンダークラッド中のドーパントの量とオーバークラッドに発生するクラックの程度との関係を求めた。

【0036】なお、この実験に際し、オーバークラッドの熱膨張係数がシリコン基板の熱膨張係数 $\pm 2.0 \times 10^{-7}$ となるように(基板の熱膨張係数を $\alpha_u$ とし、前記オーバークラッドの熱膨張係数を $\alpha_o$ としたとき、 $\alpha_o - 2.0 \times 10^{-7} \leq \alpha_o \leq \alpha_o + 2.0 \times 10^{-7}$ となるように)、オーバークラッドの組成および熱膨張係数を一定とした。

【0037】その結果、図5に示すように、アンダークラッド中のドーパント量を大きくしてオーバークラッドとアンダークラッドの熱膨張係数差を小さくすることに

より、クラックの発生を抑制できることを実験的に確認でき、その臨界点が、熱膨張係数の差にして  $21.5 \times 10^{-7} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$  であることが分かった。

【0038】本発明は、上記本発明者の検討に基づいて構成したものであるから、光導波路を例えば波長  $1.5 \mu\text{m}$  帯の光波長多重通信システムに適用すれば、半波長板を設けなくても偏波依存性損失の影響を抑制でき、かつ、吸湿による特性劣化も抑制できるアレイ導波路型回折格子等の光導波路を実現することが可能となる。また、本発明を適用したアレイ導波路型回折格子は、半波長板を必要としない分だけ作製工程数を少なくできるし、歩留まりも向上でき、コストの低減や、チャンネル数の増加も図ることが可能となる。

#### 【0039】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。なお、本実施形態例の説明において、従来例と同一名称部分には同一符号を付し、その重複説明は省略する。

【0040】本発明に係る光導波路の一実施形態例は、図1に示すアレイ導波路型回折格子であり、図6に示したアレイ導波路型回折格子と同様に基板11と光導波路形成領域10を有し、光導波路形成領域10のコアの導波路構成も図6に示したアレイ導波路型回折格子と同様である。

【0041】本実施形態例のアレイ導波路型回折格子の特徴的なことは、基板11の熱膨張係数を  $\alpha_s$  とし、アンダークラッド1bの熱膨張係数を  $\alpha_{u_s}$  とし、オーバークラッド1aの熱膨張係数を  $\alpha_{o_s}$  としたとき、 $\alpha_{o_s} - 2.0 \times 10^{-7} \leq \alpha_{u_s} \leq \alpha_s + 2.0 \times 10^{-7}$  、かつ、 $\alpha_{u_s} - \alpha_{o_s} \leq 21.5 \times 10^{-7}$  を成るようにしたことである。

【0042】本実施形態例では、基板11をシリコンとしており、その熱膨張係数  $\alpha_s = 3.0 \times 10^{-6}$  に対し、オーバークラッド1aの熱膨張係数  $\alpha_{o_s}$  を、 $\alpha_{o_s} = 2.95 \times 10^{-6}$  とし、アンダークラッド1bの熱膨張係数  $\alpha_{u_s}$  を、 $\alpha_{u_s} = 1.0 \times 10^{-6}$  として、上記関係を成立させている。

【0043】本実施形態例において、オーバークラッド1aは、純石英に  $\text{B}_2\text{O}_3$  と  $\text{P}_2\text{O}_5$  をそれぞれ約8mol%ずつ添加した石英系ガラス ( $\text{SiO}_2 - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{P}_2\text{O}_5$  系) によって形成されている。本実施形態例

$$\sigma = E_s \cdot b^2 / \{6 \cdot (1 - \nu_s) \cdot R \cdot d\} \dots \dots \dots (1)$$

【0050】ここで、 $E_s$  は基板のヤング率であり、基板がシリコンの場合、 $E_s = 1.3 \times 10^{11}$  (Pa)、 $b$  は基板の厚さであり、ここでは、 $b = 1.0 \times 10^{-3}$  (m)、 $\nu_s$  は基板のポアソン比であり、基板がシリコンの場合、 $\nu_s = 0.28$  である。また、 $d$  はクラッドガラスの厚みである。サンプルS1の場合、本実施形態例におけるアンダークラッド1bと同じ厚みであり、 $d = 0.02 \times 10^{-3}$  (m)、サンプルS2の場合

\* 例では、オーバークラッド1aをこのような組成にすることにより、オーバークラッドの熱膨張係数  $\alpha_{o_s}$  と基板(ここではシリコン基板)11の熱膨張係数  $\alpha_s$  の関係を上記のようにし、かつ、光導波路形成領域10に発生する複屈折の値Bを、 $|B| \leq 5.34 \times 10^{-5}$  としている。

【0044】そして、本実施形態例では、上記複屈折の値Bを上記値として、図9の従来のアレイ導波路型回折格子に設けた半波長板3を設けなくても偏波依存性損失の影響を低減できるようにし、光波長多重通信用として適した光導波路としている。なお、この複屈折の値Bと偏波依存性損失の関係の詳細は、前記特願2000-380号に記載されている。

【0045】また、本実施形態例では、アンダークラッド1bは石英系ガラスの  $\text{SiO}_2 - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{P}_2\text{O}_5$  系によって形成され、コア2は比屈折率差  $\Delta = 0.8\%$  となるように、石英系ガラスの  $\text{SiO}_2 - \text{B}_2\text{O}_3 - \text{P}_2\text{O}_5 - \text{GeO}_2$  系によって形成している。アンダークラッド1bの膜厚は  $20 \mu\text{m}$ 、オーバークラッド1aの膜厚は  $30 \mu\text{m}$ 、コア2の膜厚は  $6.5 \mu\text{m}$  とし、光導波路の製造方法は、従来と同様に、図7に示した方法を適用した。

【0046】なお、本実施形態例において、オーバークラッド1aとアンダークラッド1aの熱膨張係数は、以下の方法により求めたものである。すなわち、本発明者は、まず、シリコンの基板11上に、本実施形態例に適用しているアンダークラッド1bと同じ材質の膜を  $20 \mu\text{m}$  形成したサンプルS1と、本実施形態例に適用しているオーバークラッド1aと同じ材質の膜を  $30 \mu\text{m}$  形成したサンプルS2とを形成し、それぞれのサンプルS1、S2の反り半径をそれぞれ測定した。

【0047】そして、それぞれのサンプルS1、S2の反り半径に基づき、オーバークラッド1aとアンダークラッド1aの熱膨張係数を以下に示す計算により求めた。

【0048】導波路形成領域10に発生する内部応力を  $\sigma$  とすると、その値は、基板の反り半径Rを用いて次式(1)により表される。なお、反り半径Rの単位はmである。

#### 【0049】

場合、本実施形態例におけるオーバークラッド1aと同じ厚みであり、 $d = 0.03 \times 10^{-3}$  (m) である。

【0051】また、導波路形成領域10に発生する熱応力を  $\sigma_T$  とすると、その値は次式(2)により表される。

#### 【0052】

$$\sigma_T = E_s \cdot (\alpha_s - \alpha_{o_s}) \cdot \Delta T \dots \dots \dots (2)$$

【0053】ここで、 $E_s$  はクラッドガラスのヤング率

であり、 $E_s = 7.29 \times 10^{10}$  (Pa)、 $\alpha_s$  はクラッドガラスの熱膨張係数であり、 $\alpha_u$  は基板の熱膨張係数であり、シリコンの基板 11 の場合、 $\alpha_u = 3.0 \times 10^{-6}$  ( $^{\circ}\text{C}^{-1}$ )、 $\Delta T$  はクラッドガラスが固化してから室温までの温度低下を表し、本実施形態例において

$$\alpha_e = \alpha_s + [E_s \cdot b^2 / \{6 \cdot E_s \cdot (1 - \nu_s) \cdot R \cdot d \cdot \Delta T\}] \dots \quad \dots (3)$$

【0056】また、前記反り量は、接触式の表面形状測定器を用いて測定した。その結果、サンプル S 1 における基板の反り半径 R は 7.8 m、サンプル S 2 における基板の反り半径 R は 25.8 m であった。つまり、アンダークラッド 1 b は、式 (3) に  $R = 7.8$  を代入し、オーバークラッド 1 a は、式 (3) に  $R = 25.8$  を代入することにより、アンダークラッド 1 b とオーバークラッド 1 a の熱膨張係数をそれぞれ求めることができる。

【0057】上記計算により求めたアンダークラッド 1 b の熱膨張係数  $\alpha_s = \alpha_u$  が、前記の如く、 $\alpha_u = 1.0 \times 10^{-6}$  であり、オーバークラッド 1 a の熱膨張係数  $\alpha_s = \alpha_u$  が、 $\alpha_u = 2.95 \times 10^{-6}$  である。

【0058】本実施形態例は以上のように構成されており、図 2 には、本実施形態例のアレイ導波路型回折格子において、偏波ごとの通過スペクトルを測定した結果が示されている。なお、TE モードの通過スペクトルが図 2 の特性線 a に示され、TM モードの通過スペクトルが同図の特性線 b に示されている。

【0059】これらの特性線 a、b を比較すると、TM モードの通過スペクトルと TE モードの通過スペクトルの中心波長ずれは 0.01 nm 以下であり、図 8 に示した従来例における TM モードの通過スペクトルと TE モードの通過スペクトルの中心波長ずれ（解離）が 0.20 nm 程度であったのに対し、本実施形態例は、偏波モードによる通過スペクトルの中心波長ずれを各段に向上させることができた。

【0060】すなわち、本実施形態例では、光導波路を形成するオーバークラッド 1 a の熱膨張係数を上記の如く決定し、複屈折の値 B を適切な値とすることにより、半波長板 3 を設けなくても偏波依存性損失の影響が殆ど無い光波長多重通信として適した光導波路を実現することができた。

【0061】また、本実施形態例の光導波路を、ダイシングによって 30 mm 角に切り出し、プレッシャークリッカ試験により、120 °C、100 RH% の雰囲気下に 100 時間置いたところ、クラック等は皆無であった。つまり、本実施形態例の光導波路は、吸湿によるクラック発生を抑制でき、特性劣化を抑制できる光導波路を実現できた。

【0062】なお、本発明は上記実施形態例に限定されることはなく、様々な実施の態様を探り得る。例えば、光導波路を形成するアンダークラッド 1 b、オーバークラ

\* て、 $\Delta T = 1000$  (°C) である。

【0054】いま、上記内部応力が全て熱応力で発生したとすると、 $\sigma = \sigma_T$  となり、上記式 (1)、(2) から、式 (3) が導かれる。

【0055】

ラッド 1 a、コア 2 の組成は特に限定されるものではなく、適宜設定されるものである。

10 【0063】すなわち、これらの組成は、基板 11 の熱膨張係数  $\alpha_s$ 、アンダークラッド 1 b の熱膨張係数  $\alpha_u$ 、オーバークラッド 1 a の熱膨張係数  $\alpha_a$  の関係が、 $\alpha_s - 2.0 \times 10^{-7} \leq \alpha_u \leq \alpha_s + 2.0 \times 10^{-7}$ 、かつ、 $\alpha_a - \alpha_u \leq 2.1.5 \times 10^{-7}$  となるように、また、クラッド 1 の屈折率よりもコア 2 の屈折率が大きくなるように適宜設定されるものである。

【0064】また、上記実施形態例の光導波路は、アレイ導波路型回折格子としたが、本発明の光導波路は、必ずしもアレイ導波路型回折格子とするとは限らず、アンダークラッド 1 b とコア 2 とオーバークラッド 1 a とを有する光導波路形成領域を基板 11 上に形成してなる様々な光導波路に適用できるものである。

【0065】さらに、上記実施形態例では、基板 11 をシリコン基板としたが、基板 11 はシリコンとは限らず、例えばサファイア基板のような適宜の基板を適用できるものである。

【0066】

【発明の効果】本発明によれば、本発明者の検討に基づいて、光導波路の基板の熱膨張係数  $\alpha_s$ 、アンダークラッドの熱膨張係数  $\alpha_u$ 、オーバークラッドの熱膨張係数  $\alpha_a$  の関係を、 $\alpha_s - 2.0 \times 10^{-7} \leq \alpha_u \leq \alpha_s + 2.0 \times 10^{-7}$ 、かつ、 $\alpha_a - \alpha_u \leq 2.1.5 \times 10^{-7}$  としたものであるから、光導波路を例えば波長 1.55 μm 帯の光波長多重通信システムに適用すれば、半波長板を設けなくても偏波依存性損失の影響を抑制でき、かつ、吸湿による特性劣化を抑制できるアレイ導波路型回折格子等を実現することができる。

【0067】そして、本発明を適用したアレイ導波路型回折格子の光導波路は、半波長板を必要としない分だけ作製工程数を少なくできること、歩留まりも向上でき、コストの低減や、チャンネル数の増加も図ることができ、例えば 25 μm 間隔で 320 本以上のチャンネル導波路を並設設計したアレイ導波路を有するアレイ導波路型回折格子を形成することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係る光導波路の一実施形態例として適用されるアレイ導波路型回折格子を模式的に示す要部構成図である。

50 【図 2】図 1 に示した実施形態例のアレイ導波路型回折

11

格子における偏波ごとの通過スペクトルを示すグラフである。

【図3】光導波路の吸湿によるクラック発生現象の模式説明図である。

【図4】光導波路の吸湿によるクラック発生原因の考察説明図である。

【図5】光導波路のアンダークラッドとオーバークラッドとの熱膨張係数差とクラックの長さの関係を示すグラフである。

【図6】従来のアレイ導波路型回折格子を模式的に示す説明図である。

【図7】光導波路の作製工程を模式的に示す説明図である。

【図8】従来のアレイ導波路型回折格子における偏波ごとの通過スペクトルを示すグラフである。

\* 【図9】半波長板を設けて構成される従来のアレイ導波路型回折格子を模式的に示す説明図である。

【符号の説明】

1 a オーバークラッド

1 b アンダークラッド

2 コア

3 半波長板

10 光導波路形成領域

11 基板

12 光入力導波路

13 入力側スラブ導波路

14 アレイ導波路

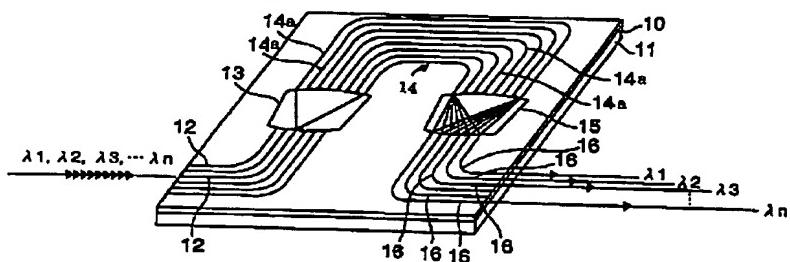
14 a チャンネル導波路

15 出力側スラブ導波路

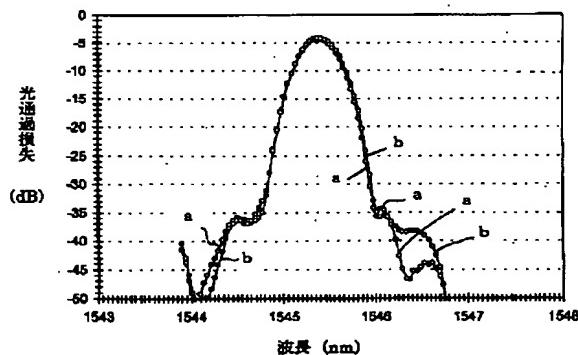
16 光出力導波路

\*

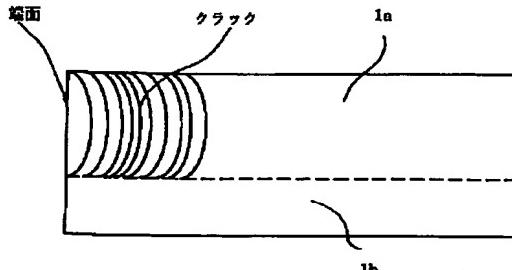
【図1】



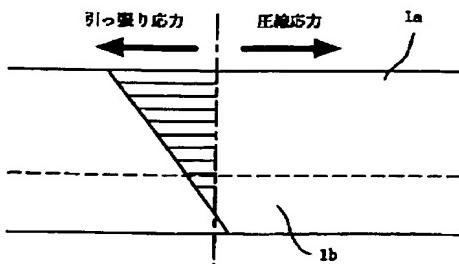
【図2】



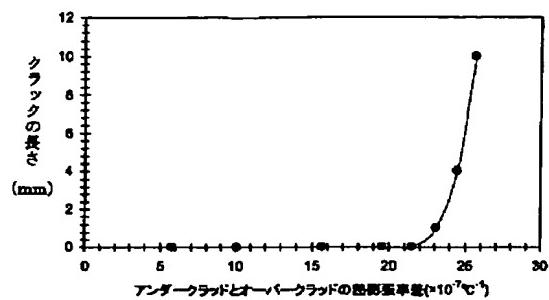
【図3】



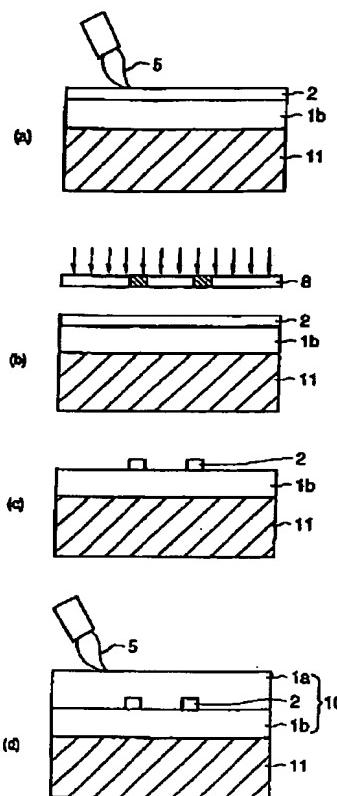
【図4】



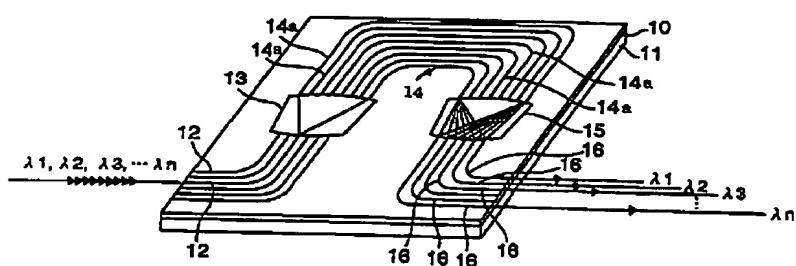
【図5】



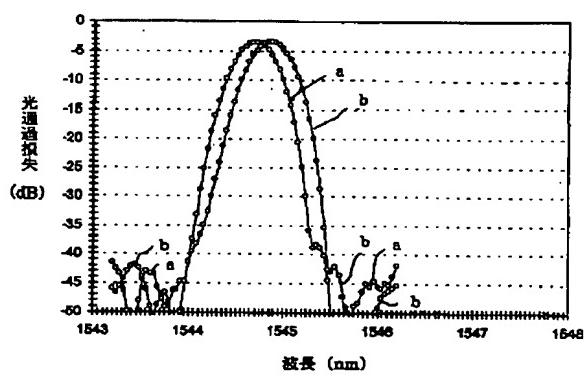
【図7】



【図6】

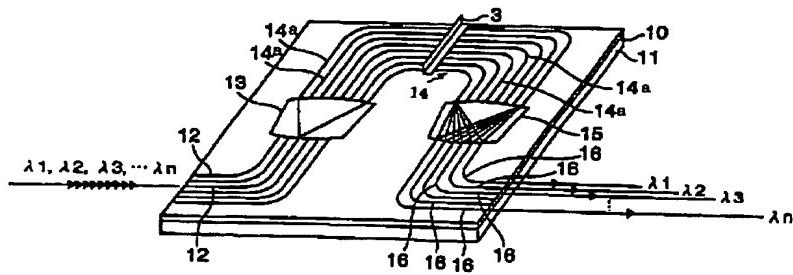


【図8】



BEST AVAILABLE COPY

[図9]



BEST AVAILABLE COPY